基于 K-means 聚类算法的叶螨图像分割与识别

刘国成[1], 张　杨[1], 黄建华[2,*], 汤文亮[3]

(1. 广州铁路职业技术学院, 广州 510430; 2. 江西省农业科学院植物保护研究所, 南昌 330200;
3. 华东交通大学软件学院, 南昌 330013)

摘要:【目的】叶螨(spider mite)是为害多种农作物的主要害虫,叶螨识别传统方法依靠肉眼,比较费时费力,为研究快速自动识别方法,引入计算机图像分析算法。【方法】该方法基于 K-means 聚类算法对田间作物上的叶螨图像进行分割与识别。【结果】对比传统 RGB 彩色分割方法,K-means 聚类算法能够有效地对叶片上叶螨图像进行分割和识别。K-means 聚类算法平均识别时间为 3.56 s,平均识别准确率 93.95%。识别时间 T 随图像总像素 Pi 的增加而增加。【结论】K-means 聚类组合算法能够应用于叶螨图像分割与识别。

关键词: 叶螨; 图像; K-means 算法; 图像分割; 图像识别; 像素

中图分类号: Q969　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 0454-6296(2015)12-1338-06

A method for image segmentation and recognition of spider mites based on K-means clustering algorithm

LIU Guo-Cheng[1], ZHANG Yang[1], HUANG Jian-Hua[2,*], TANG Wen-Liang[3] (1. Guangzhou Railway Polytechnic, Guangzhou 510430, China; 2. Institute of Plant Protection, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China; 3. School of Software, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract:【Aim】The spider mites are the main pests of many crops. Traditional recognition methods for spider mites relied on the naked eyes, which wasted a lot of time and energy. In order to study the fast automatic recognition method for spider mites, a method using computer image analysis algorithm was developed.【Methods】The method based on the K-means clustering algorithm realized the segmentation and recognition of the spider mite images which were obtained from fields.【Results】In contrast to the traditional RGB color segmentation method, the K-means clustering algorithm method was able to separate the images of spider mites from leaf background effectively. The average recognition time based on the K-means clustering algorithm was 3.56 s, and the recognition accuracy was 93.95%. The recognition time (T) increased as the pixels of tested image (Pi) increased.【Conclusion】The method can be applied to the segmentation and recognition of spider mite images.

Key words: Spider mite; image; K-means algorithm; image segmentation; image recognition; pixels

叶螨(spider mite)是为害多种农作物的主要害虫之一,主要为害植物叶片,导致农作物落叶,引起霉斑病,严重影响作物产量及长势。多种重要经济农作物如棉花、柑橘等均受叶螨为害(袁辉霞等, 2012; 方小端等, 2013)。叶螨的识别计数是叶螨研究的基础性工作,但是当前采用的计数方法主要依靠肉眼人工识别(陈鹏程等, 2007)。尽管该方法简单易行,但需要操作人员具备一定的专业基础知识,而且采用目测的计数方法往往因为操作人员的主观判断差异造成较大误差。由于叶螨个体很小,

基金项目: 江西省科技支撑计划农业项目(20122BBF60103); 江西省科技支撑计划农业项目(20132BBF60083); 广东省自然科学基金培育项目(GTXYP1310)

作者简介: 刘国成, 男, 1975 年生, 广东汕头人, 博士研究生, 讲师, 研究方向为计算机应用技术、机器视觉与计算机图像分析, E-mail: c3c365@foxmail.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: lyachjh@163.com

收稿日期 Received: 2015-07-16; 接受日期 Accepted: 2015-10-09

当发生量大时，目测观察是一项繁重的工作，甚至难以进行。近年来，随着图像采集装备和计算机图像分析技术的不断发展，为叶螨信息的实时采集和分析提供了一些新的技术和方法，如利用 BP 神经网络对柑橘始叶螨 *Eotetranychus kankitus* Ehara 图像、枣树红蜘蛛图像进行识别分析（熊焕亮和吴沧海，2013；邱道尹等，2014），吴沧海等（2010）使用 Matlab 多种边缘检测算法对柑橘始叶螨图像进行了对比分析，张华和刘国成（2014）采用二维 LWT 小波理论对田间叶螨图像进行了分析和识别，王建等（2015）提出了从红蜘蛛为害叶片的高光谱图像中识别受害区域的方法。另外，利用 K-means 聚类算法可以对多种图像材料的计数识别，例如，王志彬等（2014）基于 K-means 聚类和椭圆拟合方法的白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* （Westwood）计数算法，能够实现对不同作物上白粉虱的准确计数，且算法具有很好的泛化性。另外，基于 K-means 还可以对蚕茧及小麦条锈病菌夏孢子进行计数（李小龙等，2013；黄静等，2014）。这些技术和方法显示出计算机图像分析在图像识别领域具有重要的研究意义和应用价值。

本文采用了计算机图像处理技术对田间叶螨图像的采集和分析方法进行了研究，提出了一种基于 K-means 聚类算法的植株叶片叶螨图像分割与虫量计数方法。该方法通过移动终端图像采集设备获取叶螨在叶片上的图像并提供给计算机图像处理与分析系统，基于 K-means 聚类的组合算法实现对叶片上叶螨图像的分割和分离，进而完成对叶螨虫量的自动计数，为叶螨监控提供了一种新方法。

1　材料与方法

1.1　材料

供图像采集的叶螨选用柑橘全爪螨 *Panonychus citri* （McGregor），图像采集于江西省农业科学院植物保护研究所试验基地，寄主植物为柑橘。

田间叶螨图像采集：田间图像采集装置需要具备便携、快速、内置电源等要求，特设计了一种手持式叶螨图像采集装置，装置包含图像采集、中央处理、图像存储、显示及触摸操作和图像分析软件共 5 个模块，如图 1 所示：

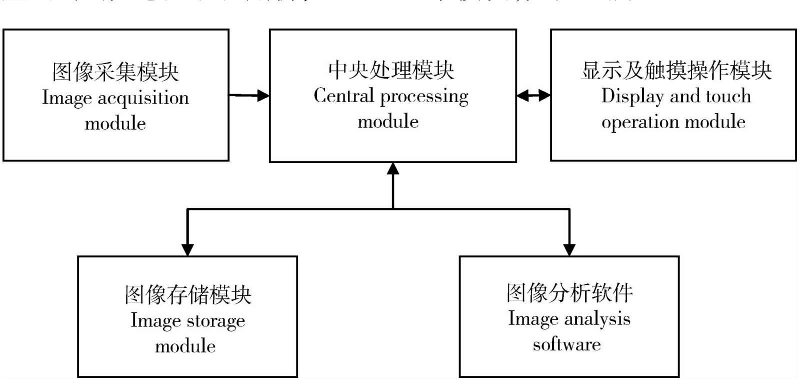


图 1　叶螨图像采集装置原理图

Fig. 1　Schematic diagram of image collecting device for spider mite

其中图像采集模块采用 500 万像素以上摄像头。中央处理模块选择四核 CPU 为中央处理器。针对图像采集系统低功耗高稳定性的特点和要求，选择 Intel 芯平板作为硬件核心，主要技术指标为：主频最高达到 1.86 GHz；支持 IPS 触摸屏、摄像头，支持 3D 加速 GPU，可以用于较复杂的图形界面的设计以及处理；提供高清视频 HDMI 接口，可以进行田间图像视频的输入输出；拥有蓝牙、WIFI。显示及触摸操作模块采用 8 寸 IPS 触摸屏，为方便存储，图像存储模块包括内置存储 32 GB，同时支持外置 TF 卡和 U 盘。为满足图像分析软件运行，选用 Microsoft Win8 作为操作系统。

1.2　图像分割和识别

利用 K-means 聚类算法，将叶螨图像的每个像素点色彩值作为特征向量，将图像构成了一个样本集合，把图像分割任务转换为对数据集合的聚类任务，运用 K-means 聚类算法进行图像区域分类，最后抽取图像区域的特征，获取想要的分离图像，运用全局阈值算法实现图像的分割和二值化，最后进行虫量计算。实现该方法的具体算法如下：

1.2.1　K-means 聚类算法：假设给定数据集 $X = \{x_m \mid m = 1, 2, \cdots, total\}$，X 中的样本用 d 个描述属性 $A_1, A_2, \cdots, A_d$ 来表示，并且 d 个描述属性都是连续型属性。数据样本 $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \cdots, x_{id})$，$x_j =$

$(x_{j1}, x_{j2}, \cdots, x_{jd})$，其中，$x_{i1}, x_{i2}, \cdots, x_{id}$ 和 $x_{j1}, x_{j2}, \cdots, x_{jd}$ 分别是样本 x_i 和 x_j 对于 d 个描述属性 $A_1, A_2, \cdots, A_d$ 的具体取值。

该方法的算法步骤如下：

① 为每个聚类确定一个初始聚类中心，这样就有 k 个初始聚类中心；

② 将样本集里的样本按照最小距离原则分配到最邻近聚类；

③ 计算每个聚类中的样本均值作为新的聚类中心；

④ 重复步骤②、③直到聚类中心不再变化；

⑤ 聚类结束，得到害虫与叶片背景的分离图像；

⑥ 采用全局阈值算法选取阈值进行图像分割，得到二值化的叶螨害虫图像；

⑦ 使用连通区域标记闭合算法对叶螨害虫二值化图像进行虫量自动计数。

1.2.2 样本空间选择和颜色模型转换：采用 K-means 聚类分析处理复杂彩色图像时，如果单纯使用像素点的 RGB 值作为特征向量构成特征向量空间，其算法鲁棒性较弱，这里将图像转换到彩色空间 Lab，然后抽取像素点的颜色、纹理和位置等特征，形成特征向量。其转换算法如下：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.412 & 0.358 & 0.180 \\ 0.213 & 0.715 & 0.072 \\ 0.019 & 0.119 & 0.950 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{cases} L = 116 \times f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 \\ a = 500 \times \left(f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right)\right) \\ b = 200 \times \left(f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right)\right) \\ f(t) = \begin{cases} \sqrt[3]{t}, t > 0.08856 \\ 7.787 \times t + \frac{16}{116}, t \leq 0.08856 \end{cases} \end{cases} \quad (2)$$

其中 Xn, Yn 和 Zn 取值为 1。

1.2.3 相似性度量选择：在计算数据样本 x_i 和 x_j 之间的距离时，采用欧式距离算法作为样本的相似性度量。

$$D(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^{d} (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (3)$$

当距离越小，表示样本越相似，差异度越小；反之，距离越大，越不相似，表示样本差异度越大。

1.2.4 选择评价聚类性能的准则函数：在样本相似性度量的基础上，还需要一个指定的准则函数才能把同一类的数据对象聚合成一个簇。聚类准则函数用于判断聚类质量的高低，误差平方和准则函数是常用的有效函数。采用误差平方和准则函数来评价聚类性能。假设 X 包含 k 个聚类子集 $X_1, X_2, \cdots, X_k$，各个聚类子集中的样本数量分别为 $n_1, n_2, \cdots, n_k$，各个聚类子集的聚类中心分别是 $m_1, m_2, \cdots, m_k$。则误差平方和准则函数公式为：

$$E = \sum_{i=1}^{k} \sum_{p \in x_i} \| p - m_i \|^2 \quad (4)$$

相似度的算法如下：

① 将所有对象随机分配到 k 个非空的簇中；

② 计算每个簇的平均值，并用该平均值代表相应的簇；

③ 根据每个对象与各个簇中心的距离，分配给最近的簇；

④ 然后转到步骤②，重新计算每个簇的平均值，这个过程不断重复直到满足某个准则函数才停止。

2 结果

2.1 基于 K-means 的组合算法的图像分割流程

基于 K-means 的组合算法对图像处理流程和过程如图 2 所示。图 2(A)为叶螨图像原图，首先将原图 RGB 色彩空间变换到 Lab 色彩空间。利用 Lab 色彩空间中的 L, a 和 b 分量信息对颜色进行 K 均值聚类。在本文方法中，使用欧氏距离度量将图像分成 3 类（即 3 块图像区域），在 3 块区域中，每块区域以原来的颜色显示，区域外的颜色显示为 0（即黑色），其中一类代表叶螨的红色区域（图 2：B），另一类表示叶片背景的浅色区域（图 2：B），最后一类表示叶片背景的深色区域（如图 2：B）。聚类计算后对 3 类区域进行标号显示（图 2：C），实现对叶螨与叶片背景的分离，其中代表叶螨的红色区域显示为黑色，叶片深色区域显示为灰色，叶片浅色区域显示为白色。可见图 2(C)中的黑点图像即是图 2(A)原图中叶螨图像。最后对图 2(C)分离结果实施全局阈值分割（这里全局阈值设为 50）得到图 2(D)的分割结果，该分割结果图像即可进行自动虫量计算。

2.2 基于 K-means 聚类算法的分割方法效果

为验证本文算法性能和分割效果，将本文聚类算法和基于 HSV 空间的彩色图像分割方法（包全磊，2010）进行对比试验分析，实现对田间叶片上叶螨虫害图像的处理分割。试验结果如图 3 所示。从

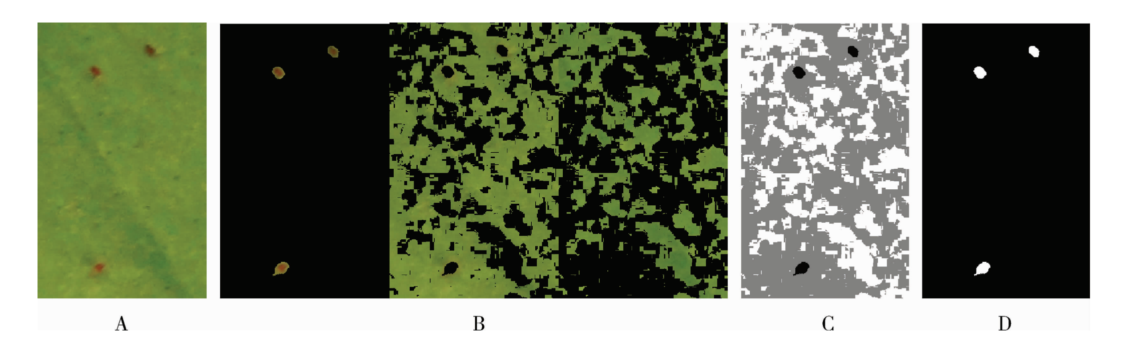


图 2　基于 K-means 算法的图像分割流程

Fig. 2　Image segmentation process based on the K-means algorithm

A：原图 Original image ；B：聚类分析的 3 类图像 Three kinds of images based on the K-means analysis ；C：聚类分割结果 Segmentation result based on the K-means method；D：全局阈值分割结果 Segmentation result based on global thresholding algorithm.

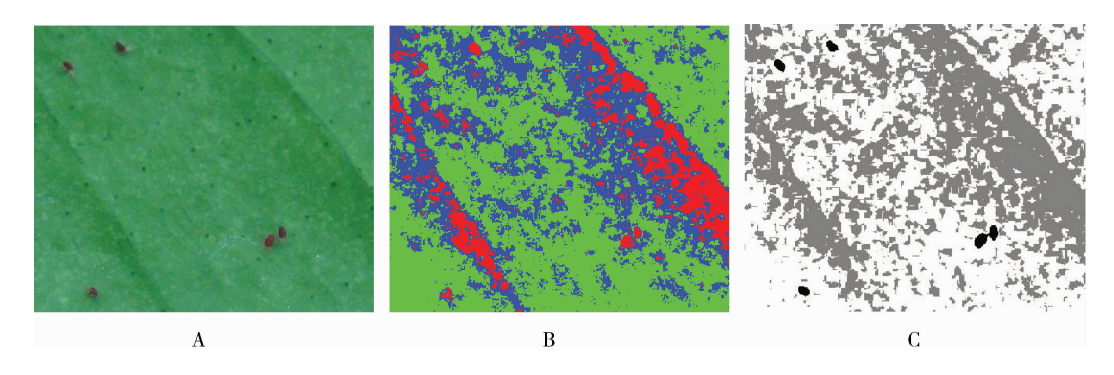


图 3　K-means 聚类分割方法与传统 RGB 彩色分割方法的分割效果对比

Fig. 3　Contrast between the K-means segmentation method and the traditional RGB color segmentation method

A：原图 Origin image；B：基于 HSV 空间的彩色分割方法分割效果 Result of color segmentation method based on HSV space；C：K-means 聚类算法分割方法效果 Result of the K-means segmentation method.

试验结果来看，试验采用的基于 HSV 空间的彩色图像分割方法难以实现叶螨害虫图像与叶片背景的有效区分。而采用本文的聚类分析方法，不但能够有效识别出叶螨害虫的特征图像，而且实现了虫害图像与叶片背景图像灰度分离，有利于后续的二值化分割处理。

2.3　基于 K-means 聚类算法的叶螨识别效果

为验证 K-means 聚类算法识别速度和准确率（识别虫量/实际虫量），从采集的叶螨图像样本中选取不同尺寸、不同虫量且叶螨区域较为明显的 15 组图像作为试验对象，采用 K-means 聚类算法进行叶螨图像识别试验。方程拟合采用 SAS9.1 统计分析软件，在联想启天 M690E 台式电脑（Windows7 系统）运行。图像识别程序用 Matlab 编写，在中柏 EZ pad-mini 平板电脑中运行，具体配置为：CPU 为四核 Bay Trail-T 系列处理器（Intel Atom CPU Z3735F 1.33 GHz），内存 2 GB，操作系统为 Windows8.1。试验结果如表 1 所示。在试验条件下，平均识别时间（T）为 3.56 s（1.94 ~ 5.43 s），平均识别准确率 93.95%。识别时间（T）随图像总像素 Pi 的增加而增加，与虫量大小无明显相关性。识别时间（T）与图像总像素（Pi）存在一元线性相关性，模型为 $T = 1.109 \times 10^{-5} Pi + 1.2907$（$R^2 = 0.9399$，$P < 0.0001$）。

3　讨论

由于田间条件复杂，采用一般的 RGB 灰度图像分割方法难以有效地从叶片背景中分离出叶螨图像，试验表明传统 RGB 彩色图像分割方法对作物叶片中叶螨图像的分离识别效果不理想。

K-means 聚类分析是一种无监督的学习方法，能够从研究对象的特征数据中发现关联规则。田间叶螨图像虽然复杂，但是图像中虫体、叶片及叶片上杂质的像素点在一定色彩空间中具有各自的特征相似性，利用这个特征空间实施分割，就可以得到想要的分割效果。与 RGB 模型不同，Lab 模型是根据图像中色彩空间不同的颜色来确定不同色彩所在的区域来对图像数据进行划分，从而定量地刻画出这些

表 1 K-means 聚类算法识别试验结果

Table 1 Recognition result based on the K-means algorithm method

序号 No.	图像总像素 *Pi*(宽×高) Total pixels *Pi* (width×height)	实际虫量 Actual number of spider mites	识别虫量 Recognition number of spider mites	识别时间 *T*(s) Recognition time
1	78 300(290×270)	31	29 ±0.58 B	1.94 ±0.05 I
2	88 447(367×241)	21	21 ±0 C	2.19 ±0.10 HI
3	111 111(429×259)	3	3 ±0 G	2.37 ±0.03 HG
4	129 204(444×291)	7	6 ±0.58 F	2.62 ±0.07 G
5	158 844(434×366)	5	5 ±0 F	3.06 ±0.03 F
6	181 362(543×334)	3	3 ±0 G	3.15 ±0.09 EF
7	182 972(596×307)	8	7 ±0.58 F	3.46 ±0.18 DE
8	187 452(492×381)	12	12 ±0 D	3.52 ±0.09 CDE
9	196 768(473×416)	26	21 ±1.73 C	3.80 ±0.10 CD
10	232 231(529×439)	7	6 ±0.58 F	3.81 ±0.18 CD
11	242 352(561×432)	7	7 ±0 F	3.88 ±0.12 C
12	267 498(579×462)	6	6 ±0 F	4.31 ±0.17 B
13	273 783(789×347)	11	10 ±0.58 E	4.55 ±0.23 B
14	314 721(561×561)	35	33 ±1.15 A	5.31 ±0.13 A
15	424 908(666×638)	11	10 ±0.58 E	5.43 ±0.01 A

表中数据为均值±标准误，同列数据后不同大写字母表示差异显著($P<0.05$，邓肯氏检验)。Data in the table are mean ± *SE*, and those followed by different capital letters in the same column are significantly different at the 0.05 level by Duncan's test.

色彩的视觉差异。因此,本文算法利用 Lab 色彩空间作为 K-means 聚类分析的特征空间,将叶螨图像从叶片背景中分离出来。试验结果表明,该方法不但将叶螨图像分离出来,而且能够保留更多叶螨图像的细节信息,这有助于后续的进一步识别与分析。

本文基于 K-means 聚类算法对柑橘叶片上的叶螨图像进行了聚类分析,实现了叶螨和叶片背景的分离。试验初步表明该算法对叶螨图像的识别率达到 93.95%,识别效果比较理想,平均识别时间为 3.56 s,能够满足田间调查要求。利用人工识别方法,当叶片虫量较大时,由于叶螨在叶片不同区域四处爬动造成的干扰,对于观察者而言,要判定叶片上的数量较为困难,只能采用估算方法统计数量。利用图像识别方法,可通过采集图像,保留叶片上的叶螨原始虫量信息,通过后续对分离图像进行阈值分割和形态学处理,可以进一步过滤 K-means 聚类算法所产生的杂质,实现了害虫和图像的分割。由于 K-means聚类算法的识别时间主要与图像的像素有关,可能还与程序运行的计算机软硬件环境有关,与虫量多少关系不大,这相比人工识别方法,是根本性改变。试验表明,利用 K-means 聚类算法,能有效地分割田间叶螨图像,实现叶片上叶螨的自动计数,本方法有望成为叶螨虫量调查的新方法。

虽然 K-means 聚类算法能够实现叶螨图像的分割,但是实际识别效果受图像质量影响较大,因此在采集图像时,拍摄的图像应清晰、典型。同时,在保证图像清晰度的前提下,应适当降低待分析的图像的总像素值,以免过多增加识别时间。当叶片上叶螨数量较少时,K-means 聚类算法造成的误判对识别准确率的影响较大,应通过适当增加样本数,提高图像质量的方法,提高识别准确率。另外,当叶片上叶螨发生量过大、叶螨图像区域重叠或相交时,是否能够应用 K-means 聚类算法进行识别还需要进一步分析。

参考文献(References)

Bao QL, 2010. Color image segmentation based on HSV space. *Software Guide*, 9(7): 171-172. [包全磊, 2010. 基于 HSV 空间的彩色图像分割. 软件导刊, 9(7): 171-172]

Chen PC, Zhang JH, Li MM, Lei YH, 2007. Physiological change and hyperspectral character analysis of cotton leaves infested by *Tetranychus turkestani*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(1): 61-64. [陈鹏程, 张建华, 李眉眉, 雷勇辉, 2007. 土耳其斯坦叶螨为害棉叶的生理变化及光谱特征分析. 昆虫知识, 44(1): 61-64]

Fang XD, OuYang GC, Lu HL, Guo MF, Meng X, Liu H, 2013. The effects of different control measures on *Panonychus citri* and arthropod enemies in citrus orchards. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(2): 413-420. [方小端, 欧阳革成, 卢慧林, 郭明昉, 孟翔, 刘慧, 2013. 不同防治措施对柑橘全爪螨及橘园天敌类群的影响. 应用昆虫学报, 50(2): 413-420]

Huang J, Zhang Q, Jiang WB, 2014. Study on automatic cocoon counting method based on improved K-means algorithm. *Journal of Silk*, 51(1): 37-40. [黄静, 张琦, 江文斌, 2014. 基于改进 K-

means 算法的蚕茧自动计数方法的研究. 丝绸, 51(1): 37 -40]

Li XL, Ma ZH, Sun ZY, Wang HG, 2013. Automatic counting for trapped urediospores of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* based on image processing. *Transactions of the CSAE*, 29(2): 199 -206. [李小龙, 马占鸿, 孙振宇, 王海光, 2013. 基于图像处理的小麦条锈病菌夏孢子模拟捕捉的自动计数. 农业工程学报, 29(2): 199 -206]

Qiu DY, Li JX, Yang LT, 2014. Research on recognition of red spider based on neural network. *Electr. Sci. Tech.*, 27(3): 48 -51. [邱道尹, 李俊霞, 杨利涛, 2014. 基于神经网络的枣树红蜘蛛识别研究. 电子科技, 27(3): 48 -51]

Wang J, Li Z, Hong TS, Ni HN, Deng XL, Zheng JB, 2015. In-leaf affected area identification from hyper-spectral image of citrus red mite infected leaf. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 36(7): 18 -22. [王建, 李震, 洪添胜, 倪慧娜, 邓小玲, 郑建宝, 2015. 从红蜘蛛为害叶片的高光谱图像中识别受害区域. 农机化研究, 36(7): 18 -22]

Wang ZB, Wang KY, Zhang SF, Liu ZQ, Mu CX, 2014. Whiteflies counting with *K*-means clustering and ellipse fitting. *Transactions of the CSAE*, 30(1): 105 -112. [王志彬, 王开义, 张水发, 刘忠强, 穆翠霞, 2014. 基于 K-means 聚类和椭圆拟合方法的白粉虱计数算法. 农业工程学报, 30(1): 105 -112]

Wu CH, Xiong HL, Qiu W, 2010. Research of yellow-spider's edge detection based on Matlab. *Micro Computer Information*, 26(26): 198 -199. [吴沧海, 熊焕亮, 裘武, 2010. 基于 Matlab 的柑橘始叶螨边缘检测的研究. 微计算机信息, 26(26): 198 -199]

Xiong HL, Wu CH, 2013. Image recognition of citrus yellow mite based on BP neural network. *Hubei Agricultural Sciences*, 52(23): 5863 -5865. [熊焕亮, 吴沧海, 2013. 基于 BP 神经网络的柑橘始叶螨图像识别. 湖北农业科学, 52(23): 5863 -5865]

Yuan HX, Li Q, Yang S, Zhao YY, Guo YL, Zhang JP, 2012. Effects of cotton cultivars on the population dynamics and population parameters of *Tetranychus turkestani*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(4): 923 -931. [袁辉霞, 李庆, 杨帅, 赵伊英, 郭艳兰, 张建萍, 2012. 不同棉花品种对土耳其斯坦叶螨的种群动态和种群参数的影响. 应用昆虫学报, 49(4): 923 -931]

Zhang H, Liu GC, 2014. Isolation and recognition of field spider mite image based on two-dimensional LWT wavelet. *Bulletin of Science and Technology*, 30(8): 209 -211. [张华, 刘国成, 2014. 田间叶螨图像二维 LWT 小波提升分离及识别. 科技通报, 30(8): 209 -211]

（责任编辑：袁德成）